

Usando motores *DC* em experimentos de Física

(Using DC motors in Physics experiments)

André L. Bender¹, Diomar R. Sbardelotto e Wictor C. Magno

Ciências Exatas e Tecnológicas, Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil
Recebido em 20/10/2003; Revisado em 17/09/2004; Aceito 10/12/2004

Apresentamos neste trabalho a aplicação de motores elétricos, funcionando como geradores de eletricidade, em experimentos didáticos de Física. Duas diferentes aplicações destes dispositivos são discutidas, um anemômetro caseiro e um contador de frequência, os quais foram construídos com motores elétricos de baixo custo. A aquisição de dados foi feita com a ajuda de um microcomputador e uma placa de som, a qual funciona como um osciloscópio, um analisador de espectro e um conversor analógico/digital.

Palavras-chave: eletromagnetismo, gerador elétrico, aquisição de dados.

In this work we have used *DC* motors, working as electric generators, in didactic Physics experiments. Two different applications of these devices are discussed: a homemade anemometer and a frequency counter, which were built with low-cost electric motors. The data acquisition was performed using a personal computer and a sound card, which work as an oscilloscope, a spectrum analyzer and an analogical/digital converter.

Keywords: electromagnetism, electric generator, data acquisition.

1. Introdução

A explicação de como as coisas funcionam pode ser de grande utilidade para os educadores, uma vez que sempre é possível adotar uma abordagem construtivista na relação de ensino-aprendizagem, quando as experiências prévias dos estudantes são levadas em conta em um processo democrático de educação. Neste sentido, alguns sítios interessantes estão disponíveis na Internet [1], [2], para ajudar na demonstração e explicação de como determinados fenômenos, dispositivos ou equipamentos funcionam, sendo possível pesquisar um assunto específico de interesse ou sugerir a inclusão de novos ítems.

Como exemplo específico, o princípio de funcionamento de um grande número de dispositivos e equipamentos eletro - eletrônicos de uso diário baseia-se em uma lei da Física descoberta há quase dois séculos, a lei da indução. Michael Faraday descobriu que uma corrente elétrica era induzida em uma espira condutora quando esta se movia nas proximidades de um ímã.

Na época, por volta de 1831, este fato não passou de uma mera curiosidade científica para alguns poucos introduzidos em um seleto grupo de pesquisadores da ciência experimental nascente do eletromagnetismo. Tomás Edison utilizou posteriormente a lei de Faraday para gerar e distribuir corrente elétrica através de cabos pela cidade de New York, sendo que a primeira rede elétrica da história foi inaugurada por volta de 1881, baseada em uma central termoelétrica, onde a energia térmica de enormes turbinas de vapor era convertida em energia elétrica, através da rotação de algumas bobinas condutoras circundadas por enormes ímãs. Hoje em dia, desde o funcionamento de uma usina hidroelétrica de grande porte até a operação de pequenos geradores elétricos, são explicados por esta lei que recebeu uma formulação matemática bastante elegante nas equações de Maxwell. Esta lei empírica pode ser entendida como: “variação temporal de campo magnético gera campo elétrico”, ou então, a mudança do fluxo magnético através da área de uma espira faz surgir uma força eletromotriz induzida, a qual

¹Enviar correspondência para Wictor C. Magno. E-mail: wictor@exatas.unisinos.br.

tende a se opor à variação de campo magnético inicial, seguindo a lei de Lenz.

Algumas aplicações de um pequeno gerador elétrico são discutidas neste trabalho, com o objetivo de exemplificação da lei da indução de Faraday. Na seção 2 são apresentados dois dispositivos que utilizam o gerador elétrico: 1) para medição da velocidade dos ventos (anemômetro) e 2) para determinação da frequência de rotação de objetos acoplados ao eixo do gerador (frequencímetro). Finalmente na seção 3 apresentamos a conclusão deste trabalho.

2. Resultados experimentais

2.1. Construção de um anemômetro

Um anemômetro é um dispositivo amplamente utilizado para medir a direção e a velocidade dos ventos, sendo normalmente encontrado em estações meteorológicas, aeroportos, aeroclubes, túneis de vento e na navegação de pequenas embarcações. Este dispositivo é bastante simples, sendo composto por um sistema de hélices acoplado ao eixo de um gerador elétrico (ver Fig. 1), e tendo como princípio de funcionamento a lei de Faraday. A rotação das hélices do anemômetro na presença do escoamento de algum fluido como o ar produz variação no fluxo magnético no interior do gerador elétrico, onde existem algumas espiras de corrente envoltas em um campo magnético de um ímã. Pela lei de Faraday, surge uma tensão elétrica induzida que pode ser lida por um voltímetro. O valor quadrático médio (*rms*) da tensão induzida no anemômetro pode ser usado para determinar a velocidade do vento escoando através da hélice, desde que tenha sido feita uma calibração prévia do aparelho.

O processo de calibração do anemômetro consiste em obter uma curva de calibração que relacione diretamente o valor *rms* da tensão induzida com a velocidade do vento que passa pelo anemômetro, uma vez que, quanto maior a rotação da hélice, maior será o valor da tensão lida pelo voltímetro.

Uma discussão sobre o princípio de funcionamento dos motores elétricos pode ser encontrada em [3]. Os motores elétricos (*DC*) estão disponíveis a baixíssimo custo nos equipamentos de hardware de computadores, onde alguns dispositivos de mídia (discos magnéticos, compact disk, dentre outros) são colocados em rotação para leitura ou gravação de dados, como em drives de disquete, HD, CD-ROM, DVD e gravadores de CD. É necessário desencapar a ponta dos fios na extremidade

do cabo que sai do motor elétrico e usar conectores do tipo “banana” para acoplar o sinal induzido na entrada de um voltímetro comercial. De posse então de um gerador elétrico de baixo custo, será necessário ainda acoplar um sistema de hélices ao eixo do gerador. As aletas da hélice do anemômetro devem ser construídas com materiais leves, como isopor ou plástico de garrafas PET, sendo que as canecas metálicas da Fig. 1 podem ser substituídas por pares de aletas de algum outro material de baixo custo, conforme podemos verificar na Fig. 2, em que aparece o anemômetro construído por nós. O sentido de rotação da hélice será definido pela orientação das aletas do anemômetro e pela direção dos ventos no local onde se encontra instalado o equipamento de medição. Para acoplar a engrenagem do motor na haste das hélices pode-se usar cola, uma pequena borracha (oring) ou outro acoplamento para permitir um bom contato entre as partes.



Figura 1 - Anemômetro comercial usado em estações meteorológicas para determinação da velocidade dos ventos.



Figura 2 - Anemômetro construído com materiais de baixo custo, formado basicamente por um gerador elétrico, um sistema de hélices e um voltímetro.

A calibração do indicador da velocidade dos ventos pode ser feita usando um anemômetro comercial

ou um veículo em movimento, levantando-se a curva de calibração: tensão lida no voltímetro em função da velocidade do automóvel. Apresentamos na Fig. 3 a curva de calibração do nosso anemômetro de baixo custo. Utilizamos para esta calibração a segunda opção, o levantamento da relação entre a velocidade do vento e a tensão induzida no gerador com um carro em movimento. As barras de erro indicadas nas medidas referem-se as incertezas dos equipamentos de medida utilizados: $\Delta v = 5 \text{ km/h}$ e $\Delta V = 50 \text{ mV}$, respectivamente para o velocímetro do automóvel e para o voltímetro. A curva sólida na Fig. 3 representa um ajuste teórico pelo método dos mínimos quadrados, mostrando que a relação entre a velocidade do vento e a tensão induzida no anemômetro é linear. Este fato indica que o motor *DC* utilizado como gerador pode ser usado como um sensor de velocidade, pois sua resposta é linear para uma ampla faixa de velocidades. A curva de calibração encontrada para o anemômetro foi: $v = 0.054 \cdot V (\pm 5 \text{ km/h})$, com a velocidade v dada em km/h e a tensão induzida V em mV.

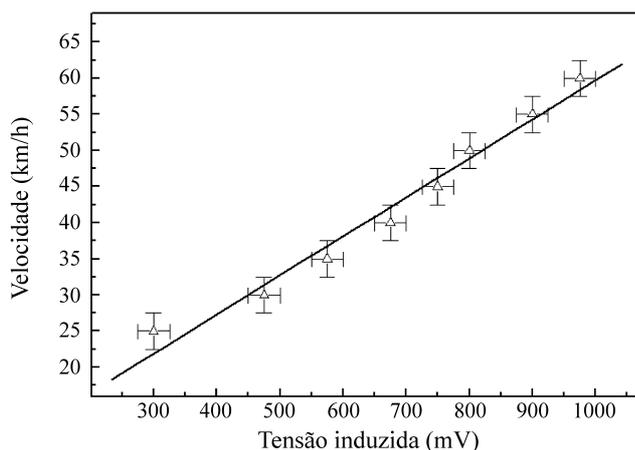


Figura 3 - Curva de calibração do anemômetro de baixo custo, indicando a velocidade do vento (km/h) em função da tensão induzida no gerador elétrico do anemômetro (mV).

Uma observação importante que deve ser feita aqui é que somente um motor elétrico *DC* que possua ímã permanente poderá ser utilizado como um gerador de eletricidade. Os motores elétricos que funcionam com base em eletroímãs não podem gerar uma tensão elétrica induzida. Existem outras formas de se construir um anemômetro, usando efeitos diversos além da rotação mecânica de uma hélice de um gerador elétrico, embora a configuração apresentada aqui seja bastante simples e fácil de ser implementada, e a um custo bastante reduzido.

2.2. Medindo a resposta de um gerador elétrico

Algumas características do sinal elétrico induzido em um gerador, como amplitude da tensão gerada e frequência do sinal alternado, dependerão fortemente de detalhes específicos do gerador. Dentre eles podemos citar o número de espiras de corrente e a presença de ímãs permanentes para a geração do campo magnético interno. De certa maneira não existe um comportamento geral para os diferentes tipos de geradores disponíveis comercialmente e utilizados nos equipamentos eletrônicos. Portanto, antes de usar um determinado gerador elétrico para a construção do anemômetro da seção anterior, é recomendável observar o sinal induzido usando, por exemplo, um osciloscópio comercial. Para observação da forma de onda induzida no gerador deve-se usar um cabo com conector *BNC* em uma extremidade e “jacaré” na outra, para acoplar o sinal elétrico induzido ao osciloscópio. Um bom gerador elétrico para um anemômetro deve ser aquele que apresente um pequeno atrito em seu eixo de rotação, o qual possa ser facilmente girado com o auxílio das mãos.

Na Fig. 4 apresentamos uma medida do sinal induzido no gerador elétrico posto em rotação, usando um osciloscópio digital (Tektronix TDS 3032). A amplitude e o período do sinal alternado induzido ($V \approx 2.0 \text{ V}$, $T \approx 4.0 \text{ ms}$) variam de acordo com a rotação do eixo do motor, sendo estes os valores médios obtidos para máxima rotação manual do motor. Como pode ser visto na figura, uma onda praticamente senoidal é induzida nos terminais do motor em rotação, fato este que pode ser usado para explorar diversos conceitos didáticos como: sinais alternados, fasores e a lei da indução de Faraday. Portanto, é possível abordar vários conceitos importantes da Física com um simples gerador em rotação e um osciloscópio.

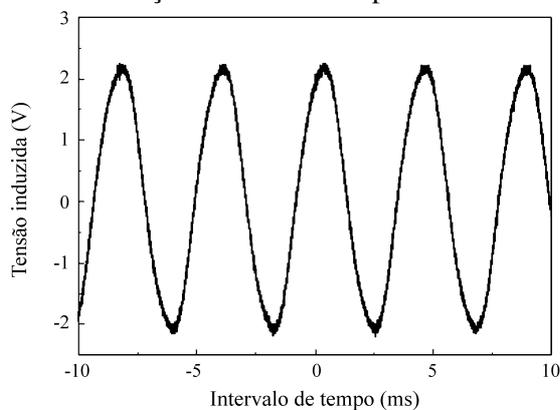


Figura 4 - Forma de onda induzida no gerador elétrico usado para a construção do anemômetro.

Na ausência de um osciloscópio comercial, ainda é possível observar o sinal elétrico induzido em um pequeno gerador com um sistema de aquisição alternativo de baixo custo. Podemos enviar o sinal elétrico induzido no gerador em rotação ao canal de entrada (*line-in*) da placa de som do PC, para conversão do sinal analógico em um sinal digital (conversor A/D) passível de ser lido pelo PC. É possível então observar em tempo real no microcomputador as formas de onda induzidas, usando um software didático que transforma o computador em um osciloscópio virtual [4]. Deve-se tomar o cuidado de não usar valores relativamente altos para a amplitude de tensão induzida no gerador, sob o risco de danificar a entrada de áudio da placa de som. Uma amplitude de tensão de alguns poucos volts ($V \leq 3.0$ V) estará apropriada para a placa de som, para não correr o risco de queimar o dispositivo e saturar seu ganho.

Na Fig. 5 (a) podemos visualizar a tensão alternada do gerador usado na Fig. 4, sendo que agora o sinal induzido foi medido com a placa de som de um PC. Para acoplar este sinal ao canal de entrada (*line-in*) da placa de som é preciso usar um conector macho de 1/8 de polegada, daqueles que são utilizados nas caixas de som estéreo (speaker) do PC. A curva mostrada em (b) corresponde ao espectro de frequência (FFT) do sinal medido em (a), mostrando praticamente um único harmônico fundamental em $f_1 \approx 250$ Hz, o que coincide aproximadamente com o resultado da Fig. 4, quando observamos um período em torno de $T = 4$ ms = $1/250$ Hz. O valor elevado obtido para a máxima frequência de rotação do gerador usado neste trabalho ($f_1 \approx 250$ Hz) deve-se a um fator de ampliação da frequência de rotação, decorrente do número de magnetos internos do gerador (6 magnetos), o que faz o sinal elétrico induzido executar 6 ciclos completos para cada revolução do eixo principal do motor. A máxima frequência real de giro do eixo principal do gerador será $f_1/6 \approx 42$ Hz. Nas Refs. [5], [6] e [7] são apresentadas algumas outras aplicações da placa de som do PC como um instrumento de medida, onde são usados materiais de baixo custo para explorar diversos conceitos de Ensino de Física.

2.3. Construção de um sensor de rotação

Observando um pouco mais atentamente a Fig. 5 (b) podemos identificar uma outra possível aplicação para nosso gerador elétrico, quando este estiver acoplado a um motor elétrico em rotação. A frequência de rotação

supostamente desconhecida de um motor elétrico pode ser determinada, por exemplo, medindo-se o espectro FFT do sinal induzido no gerador elétrico com a placa de som. Em geral dispositivos conhecidos como contadores de giro são amplamente empregados em indústrias e no automobilismo, nos quais é possível obter uma relação de proporcionalidade entre a tensão aplicada ao motor e o número de rotações por minuto (*rpm*) executado pelo seu eixo mecânico. Muitos experimentos didáticos envolvendo rotações também podem se beneficiar desta aplicação para o gerador elétrico.

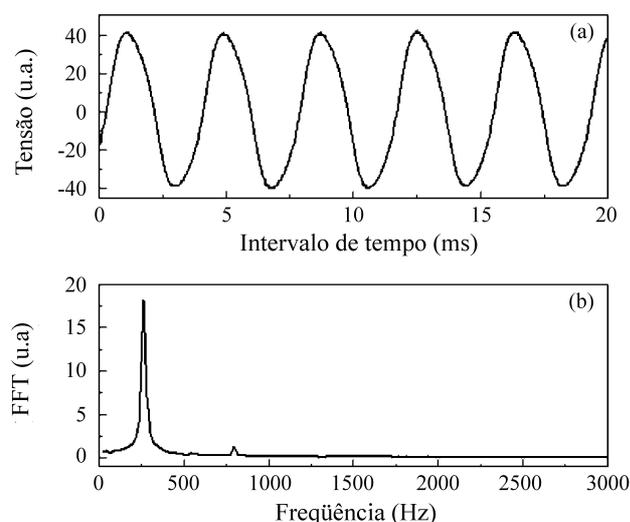


Figura 5 - (a) Forma de onda induzida no gerador, medida com uma placa de som de um PC. (b) Espectro de frequência do sinal induzido, adquirido diretamente com a placa de som do PC.

Construímos um medidor de frequência de rotação com o gerador elétrico usado anteriormente, acoplado diretamente a um motor *DC* alimentado por uma fonte de tensão variável. Na Fig. 6 mostramos a relação de linearidade obtida para a frequência de rotação do eixo principal do gerador elétrico em função da tensão de alimentação do motor *DC*, medindo o espectro de Fourier do sinal gerado com o software didático [4] e com a placa de som do PC. A frequência f_1 do harmônico fundamental medido foi dividida por um fator 6, para determinar a frequência real de giro do gerador (dada em *rpm*), conforme discutido no final da seção 2.2. A máxima frequência obtida na Fig. 6 corresponde a $f = 32.3\text{Hz} = 1940$ *rpm*, bastante próximo da maior rotação nominal permitida pelo motor *DC* utilizado (2000 *rpm*).

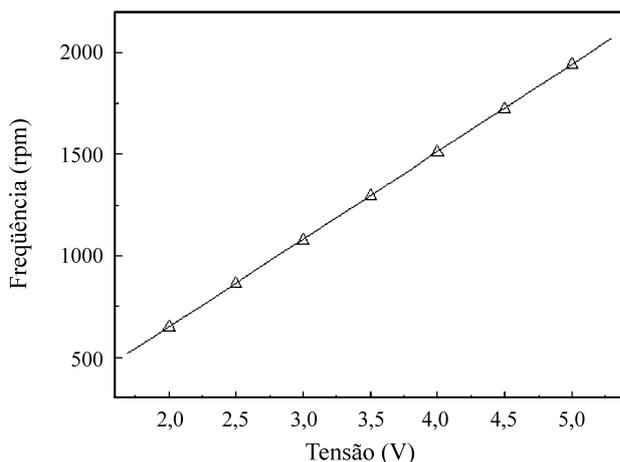


Figura 6 - Utilização do gerador elétrico como um frequencímetro, através da rotação de um motor *DC* acoplado diretamente ao gerador elétrico.

3. Conclusão

Discutimos neste trabalho a construção de dois sensores de medida usando um pequeno motor *DC* como um gerador elétrico e outros materiais de baixo custo. Uma primeira aplicação foi a montagem de um indicador da velocidade do vento (anemômetro), sendo apresentadas a calibração do sensor e as medidas dos sinais elétricos induzidos no gerador. A aquisição de dados foi feita com um sistema de baixo custo, através da utilização da placa de som do PC como um conversor Analógico/Digital (A/D). O segundo sensor construído foi um frequencímetro, usado para

determinação do número de giros (*rpm*) de pequenos motores elétricos acoplados ao eixo do gerador. Os dispositivos montados neste trabalho podem ser úteis em experimentos didáticos onde conceitos de Eletromagnetismo podem ser explorados, como a lei de indução de Faraday, além de elucidar o princípio de funcionamento de um grande número de equipamentos elétricos, o que pode ser bastante útil para o Ensino de Física.

Referências

- [1] Laboratório didático virtual da USP. Ver endereço: <http://www.labvirt.futuro.usp.br/>
- [2] Biblioteca de Ciências Físicas do site “Como as Coisas Funcionam”. Ver endereço: <http://science.howstuffworks.com/channel.htm?ch=sciencesub=sub-physical-science>.
- [3] Louis A. Bloomfield, *How Things Works: The Physics of Everyday Life* (John Wiley and Sons, USA, 1997).
- [4] Programa didático “Winscope” que transforma o PC em osciloscópio virtual e analisador de espectro. Disponível gratuitamente no site: <http://polly.phys.msu.su/zeld/oscill.html>
- [5] Erivaldo Montarroyos e Wictor C. Magno, *Rev. Bras. Ens. Fis.* **23**, 57 (2001).
- [6] Wictor C. Magno e Erivaldo Montarroyos, *Rev. Bras. Ens. Fis.* **24**, 497 (2002).
- [7] W.C. Magno, A.E.P. de Araujo, M.A. Lucena and E. Montarroyos, *Rev. Bras. Ens. Fis.* **26**, 117 (2004).